

И. Н. Одинаев, П. В. Мурзин, Ф. З. Бобокалонов, А. В. Паздерин
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
i.n.odinaev91@mail.ru

СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЕЖИМЕ НАСЫЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

В работе предложен способ восстановления тока в режиме, когда магнитопровод трансформатора тока насыщен. Показан метод расчета намагничивающего тока и магнитной индукции с учетом остаточной намагниченности на основе измеренных данных вторичного тока.

Ключевые слова: трансформаторы тока (ТТ), намагничивающий ток, магнитная индукция, релейная защита, магнитопровод ТТ.

I. N. Odinaev, P. V. Murzin, F. Z. Bobokalonov, A. V. Pazderin
Ural Federal University, Ekaterinburg

COMPENSATING METHODS OF DISTORTED DATA UNDER CURRENT TRANSFORMER SATURATION

The paper presents technique to compensate the distorted current. Based on the data of the measured secondary current the flux density calculation including initial core flux is proposed as well as the magnetizing current definition is presented.

Key words: Current transformers (CTs), magnetizing current, flux density, protection system, CT core.

В настоящее время основным источником информации о токе в первичных цепях являются измерительные трансформаторы тока (ТТ), работающие по электромагнитному принципу. Как показывает опыт эксплуатации, ток, возникающий при КЗ, вызывает насыщение магнитопровода ТТ, вследствие чего может произойти отказ или некорректное срабатывание релейной защиты (РЗ).

Для решения этой проблемы, на этапе проектирования был произведен ряд конструктивных изменений как магнитной, так и электрической части ТТ [1]. Предложенные в [1] методы обеспечивают компенсацию погрешностей ТТ при протекании по первичной стороне тока от 10 до 120 % номинального. Однако, эти методы не способны компенсировать погрешность тока, возникающую вследствие насыщения сердечника.

Чтобы уменьшить токовую погрешность, были предложены методы компенсации вторичного тока ТТ в режиме насыщения магнитопровода с помощью прогнозирования [2–4] и с помощью нейронных сетей (НС) [5, 6]. В ходе апробации было выявлено, что при компенсации искаженного тока с содержанием высших гармоник методами [2–4] происходит заметное искажение восстановленного тока, что приводит к увеличению погрешности. Методы [5, 6] нечувствительны к гармоникам и степени искаженности тока, но для обучения НС необходимо учитывать режимы сети, что приводит к необходимости увеличения объема памяти терминалов РЗ.

В настоящей работе приведен способ компенсации вторичного тока ТТ с использованием кривой намагничивания [7] как наиболее эффективный и устойчивый к наличию высших гармоник.

На рисунке представлена схема замещения однофазного ТТ, для которой справедливы уравнения (1). Эти уравнения описывают принцип действия однофазного ТТ как в переходном, так и в установившемся режиме.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dB}{dt} = \frac{1}{w_2 \cdot S} \left(R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \right) \\ H \cdot l = w_1 \cdot i_1 - w_2 \cdot i_2 \\ i_1 = i_\mu + i_2 \end{array} \right., \quad (1)$$

где B – магнитная индукция ТТ; $H = f(B)$ – напряженность магнитного поля; l – средняя длина магнитного пути; i_1 и $i_\mu = Hl/w_2$ – соответственно приведенный к вторичной цепи первичный и намагничивающий токи; i_2 – вторичный ток; w_1 и w_2 – соответственно количество витков первичной и вторичной обмоток; S – поперечное сечение магнитопровода; R_2 и L_2 – соответственно, активное сопротивление и индуктивность на вторичной цепи ТТ.

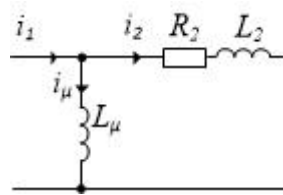


Схема замещения однофазного ТТ

Для вычисления индукции и приведенного к вторичной цепи первичного тока в режиме насыщения два первых уравнения системы (1) удобно переписать в матричной форме.

$$\begin{pmatrix} w_2 \cdot S & 0 \\ H \cdot l & -w_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{dB}{dt} \\ \frac{di_1}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \\ -w_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Из системы (2) легко можно найти индукцию B и приведенный первичный ток:

$$\begin{cases} \frac{dB}{dt} = \frac{w_1 \left(R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \right)}{w_1 w_2 S} \\ \frac{di_1}{dt} = \frac{w_2^2 S \cdot \frac{di_2}{dt} + \left(R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \right) + l \cdot H}{w_1 w_2 S} \end{cases} \quad (3)$$

В системе (3) неизвестным является напряженность магнитного поля H . В [8] предложены виды функций, позволяющие аппроксимировать кривую намагничивания $H = f(B)$. В процессе решения системы (3) необходимо учитывать начальную магнитную индукцию B_0 . Согласно [7] расчет B_0 можно выполнить следующим образом

$$B_0 = \frac{R_2}{w_2 S} \int_{i_1}^{i_2} i_2(\lambda) \cdot d\lambda + \frac{L_2}{w_2 S} \cdot [i_2(t_2) - i_2(t_1)], \quad (4)$$

где t_1 — начало периода, в котором происходит насыщение магнитопровода ТТ; t_2 — момент времени, в котором возникает насыщение магнитопровода ТТ.

В режиме насыщения магнитопровода погрешность ТТ превышает предельно допустимые значения, поэтому необходимо использовать методы компенсации искажений вторичного тока. Предложенный метод восстановления тока с использованием кривой

намагничивания позволяет повысить эффективность функционирования РЗ и точность измерений.

Список использованных источников

1. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока : учеб. пособие / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, Л. В. Жалалис, И. М. Сирота, Б. С. Стогний. Л. : Энергия, 1980. 344 с.
2. Macieira G. L., Coelho A. L. M. Evaluation of numerical time overcurrent relay performance for current transformer saturation compensation methods // Electric power systems research. 2017. Vol. 149. P. 55–64.
3. Рыбалкин А. Д. Прогнозирование тока КЗ при насыщении ТТ [Электронный ресурс] / А. Д. Рыбалкин., А. А. Шурупов., И. А. Ермолкин. // Цифровая электротехника : проблемы и достижения. 2016. № 5. С. 55–65. URL : <https://ezproxu.urfu.ru:3054/item.asp?id=30489960> (дата обращения: 19.11.19)
4. Wiszniewski A., Rebizant W., Schiel L. Correction of current transformer transient performance // IEEE Trans. Power Del. 2008. Vol. 23, № 2. P. 624–632.
5. Yu D. C., Cummins J. C., Wang Z., Yoon H.-J., Kojovic L. A. Correction of current transformer distorted secondary currents due to saturation using artificial neural networks // IEEE Trans. Power. Del. 2001. Vol. 16, № 2. P. 441–446.
6. Koksai E. ANFIS-Based compensation algorithm for current-transformer saturation effects // IEEE Trans. Power Del. 2009. Vol. 24, № 1. P. 195–201.
7. Kang Y. C. An algorithm for compensating secondary current of current transformers [Electronic source] / Y. C. Kang, J. K. Park, S. H. Kang, A. T. Johns, R. K. Aggarwal // IEEE Trans. Power. Del. 1997. № 12. P. 116–122.
8. Бессонов А. С. Электрические цепи со сталью. М.-Л. : Госэнергоиздат, 1948. 344 с.